



별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto is a true copy from the records of the Korean Intellectual Property Office.

출원번호 : 10-2002-0078523
Application Number

출원년월일 : 2002년 12월 10일
Date of Application DEC 10, 2002

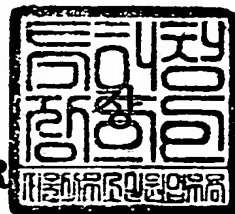
출원인 : 삼성전자주식회사
Applicant(s) SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD..



2003 년 03 월 17 일

특 허 청

COMMISSIONER



【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【참조번호】	0010
【제출일자】	2002. 12. 10
【국제특허분류】	H03M
【발명의 명칭】	부호 분할 다중 접속 이동 통신 시스템의 오류 정정 장치 및 방법
【발명의 영문명칭】	METHOD AND APPARATUS FOR ERROR CORRECTING IN CDMA WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM
【출원인】	
【명칭】	삼성전자 주식회사
【출원인코드】	1-1998-104271-3
【대리인】	
【성명】	이건주
【대리인코드】	9-1998-000339-8
【포괄위임등록번호】	1999-006038-0
【발명자】	
【성명의 국문표기】	유남열
【성명의 영문표기】	YU, Nam Yul
【주민등록번호】	711207-1024118
【우편번호】	442-725
【주소】	경기도 수원시 팔달구 영통동 벽적골8단지 812-804
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	김민구
【성명의 영문표기】	KIM, Min Goo
【주민등록번호】	640820-1067025
【우편번호】	442-811
【주소】	경기도 수원시 팔달구 영통동 968 신나무실 신명아파트 633-1502
【국적】	KR
【심사청구】	청구

【취지】

특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인
이건주 (인)

【수수료】

【기본출원료】	20	면	29,000	원
【가산출원료】	23	면	23,000	원
【우선권주장료】	0	건	0	원
【심사청구료】	10	항	429,000	원
【합계】	481,000	원		

【요약서】**【요약】**

본 발명은 터보 코드를 사용하여 순방향 오류 정정을 수행하는 순방향 오류 정정 장치에서 반복 복호 정지 명령이 인가될 때까지 입력되는 프레임을 반복 복호하고, 상기 프레임을 구성하는 심벌들 각각의 절대치 신뢰도들을 출력하고, 상기 절대치 신뢰도들 중 최소 절대치 신뢰도를 측정값으로 검출한 후, 상기 심벌들 각각의 사전 정보들과, 상기 심벌들 각각에 대한 부가 정보들을 이용하여 임계값을 검출한다. 그리고 나서 상기 측정값과 임계값의 비교 결과에 따라 상기 반복 복호 정지 명령을 출력함으로써 반복 복호를 제어한다.

【대표도】

도 1

【색인어】

측정값 $M(i)$, 임계값 $T(i)$, SDML(Sign Difference & Minimum absolute LLR) Stopping Criterion 방식, 프레임 에러율, 평균 반복 복호 회수

【명세서】**【발명의 명칭】**

부호 분할 다중 접속 이동 통신 시스템의 오류 정정 장치 및 방법 {METHOD AND APPARATUS FOR ERROR CORRECTING IN CDMA WIRELESS COMMUNICATION SYSTEM}

【도면의 간단한 설명】

도 1은 본 발명의 실시예에서의 기능을 수행하기 위한 터보 복호기 구성을 도시한 블록도

도 2는 도 1의 측정값 검출기(117)의 내부 구성을 도시한 블록도

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 SDML Stopping Criterion 방식을 이용한 터보 복호 과정을 도시한 순서도

도 4는 프레임 사이즈가 5114일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 프레임 에러율 성능을 도시한 그래프

도 5는 프레임 사이즈가 5114일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 평균 반복 복호 회수 성능을 도시한 그래프

도 6은 프레임 사이즈가 2558일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 프레임 에러율 성능을 도시한 그래프

도 7은 프레임 사이즈가 2558일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 평균 반복 복호 회수 성능을 도시한 그래프

【발명의 상세한 설명】**【발명의 목적】****【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】**

- <8> 본 발명은 부호 분할 다중 접속 이동 통신 시스템에서 오류 정정 장치 및 방법에 관한 것으로, 특히 터보코드를 사용한 순방향 오류 정정 장치 및 방법에 관한 것이다.
- <9> 통상적으로 부호 분할 다중 접속(CDMA: Code Division Multiple Access, 이하 "CDMA"라 칭하기로 한다) 이동 통신 시스템은 전송 채널에서 발생하는 잡음으로 인한 오류를 정정하기 위한 오류 정정(error correction)을 수행한다. 일반적으로 순방향 오류 정정 방식은 송신단에서 정보어를 오류 정정 기법을 사용하여 부호어로 부호화하여 전송하고, 수신단에서 적절한 복호 방식을 사용하여 수신된 부호어를 복호하여 정보어를 얻는 방식을 나타낸다. 그런데, 상기 CDMA 이동 통신 시스템에서 사용되는 대표적인 순방향 오류 정정은 컨벌루셔널 코드(Convolutional code)를 이용하는 방식과 터보 코드(turbo code)를 이용하는 방식의 두 가지 대표적인 방식으로 수행된다.
- <10> 특히 최근 제3세대(3G: 3rd Generation) 이동 통신 시스템으로서 주목받고 있는 동기 방식과 비동기 방식 모두에서 오류 정정 부호로서 터보 코드가 채택되었다. 상기 터보 코드는 종래에 순방향 오류 정정을 위해 주로 사용되던 컨벌루셔널 코드에 비하여 고속 데이터 전송 시에 성능 이득이 우수한 것으로 알려져 있다. 또한, 상기 순방향 오류 정정을 위해 사용되는 코드 중의 한 코드인 터보 코드는 전송 채널에서 발생하는 잡음에 의한 오류를 효과적으로 정정하여 데이터 전송의 신뢰도를 높일 수 있다는 장점을 가진다.

<11> 상기 터보 코드를 생성하는 부호기(encoder)인 터보 부호기(turbo encoder)는 L 정보 비트(L information bits)의 프레임(frame)으로 이루어진 입력을 두 개의 간단한 병렬 채널 부호를 이용하여 패리티 심볼(parity symbol)을 생성하는 구조를 가지며, 구성 부호(component code)로는 RSC(Recursive Systematic Convolutional) 부호를 이용한다. 결과적으로 상기 터보 코드는 두 개의 RSC 부호기를 인터리버(interleaver)를 통해 병렬로 연결하여 생성한 부호로서, 복호시 각 구성 부호에 대한 연성 입력/연성 출력(SISO: Soft Input Soft Output, 이하 "SISO"라 칭하기로 한다) 복호기(decoder)를 직렬로 연결하고, 상기 SISO 복호기들로부터 생성된 부가 정보(extrinsic information)를 교환하는 과정을 통해 반복 복호(iterative decoding)를 수행하게 된다. 따라서 이러한 반복 복호 방식에서는 복호 성능을 그대로 유지하면서 어느 시점에서 반복 복호를 정지시켜야 하는지가 복호기의 전력 소모 및 그 복호 처리에 따른 시간 지연을 결정하는 중요한 변수로서 작용한다. 즉, 반복 복호 방식에서 복호 시간을 단축하고 복호에 따른 전력 소모를 최소화하기 위해서는 복호하는 프레임의 오류 발생 유무를 수시로 점검해야하며 보통 이를 위한 방법으로 CRC(Cyclic Redundancy Check) 비트가 상기 터보 코드와 함께 사용되고 있다. 상기 CRC 비트를 이용하는 반복 복호 정지 방법을 자세히 설명하면, 먼저 송신단에서 터보 부호기로 입력되는 하나의 입력 프레임마다 CRC 비트를 덧붙이고, 수신단의 반복 복호 과정마다 출력되는 프레임에 대해 CRC 비트를 이용한 오류 검출(error detection)을 수행하는 동작으로 이루어진다. 이때, 상기 오류 검출 과정에서 프레임에 오류가 발생하지 않았다고 판단되면 더 이상의 복호를 진행하지 않고, 해당 프레임의 복호를 중단한다.

- <12> 그러면 여기서 상기 터보 복호 과정에서 반복 복호를 위한 반복 복호 정지 기준 (stopping criterion, 이하 "stopping criterion"이라 칭하기로 한다)에 대해서 설명하기로 한다.
- <13> 먼저, 상기 반복 복호 stopping criterion은 하기와 같은 <조건 1>을 만족해야 한다.
- <14> 조건 1: $M(i) > T(i)$ 혹은 $M(i) = T(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) > T(i)$ or $M(i) = T(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)
- <15> 상기 <조건 1>에서 $M(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 복호 정지를 위해 측정하는 터보 복호 프레임(turbo decoding frame) 성능을 나타내는 측정값(measure)이고, $T(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 복호된 프레임에 대해 오류가 없다고 판단할 수 있는 측정값에 대한 임계값(threshold)이다. 각 복호 과정에서 상기 측정값 $M(i)$ 를 미리 설정해 놓은, 혹은 상기 반복 복호 과정에서 결정되는 임계값 $T(i)$ 와 비교하여, 상기 비교 결과 상기 <조건 1>을 만족하면 해당 반복 복호에서 복호를 정지하게 된다. 이하의 설명에서 상기 터보 복호기를 구성하는 두 개의 SISO 복호기들, 즉 제1SISO 복호기와 제2SISO 복호기 모두를 순차적으로 통해서 복호하는 과정을 "1회의 반복 복호(iteration decoding)"라 정의하기로 한다. 그래서 상기 제1 SISO 복호기 및 제2SISO 복호기 중 어느 한 SISO 복호기를 통해서 복호하는 과정은 0.5회의 반복 복호가 되는 것이다.
- <16> 그러면 여기서 현재까지 제안된 바 있는 상기 반복 복호를 위한 stopping criterion들에 따른 각각의 방식을 설명하면 다음과 같다.

<17> (1) Genie-aided Stopping Criterion 방식

<18> 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식은 일종의 시뮬레이터(simulator)인 Genie가 터보 복호기의 반복 복호 과정을 관찰하면서 임의의 SISO 복호기에서 복호된 정보어(information codeword)와 전송된 정보를 비교하여 오류가 검출되지 않으면 복호를 정지하는 방식이다. 따라서, 이러한 복호 정지 방식은 실험적인 시뮬레이션(simulation)으로만 가능하기 때문에 실제 구현은 불가능하다. 다만 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식은 다른 stopping criterion들을 사용하는 방식들이 이상적으로 구현해야 할 기준으로만 적용된다. 그 이유는 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식은 실험적으로 완벽한 환경에서 터보 복호가 수행될 경우를 가정하므로 실제 환경에서는 구현이 불가능하기 때문이다.

<19> 여기서 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식을 나타내면 하기 <조건 2>와 같다.

<20> 조건 2: $M(i) = T(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) = T(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)

<21> 단, 상기 <조건 2>에서 측정값 $M(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 SISO 복호기에서 검출된, 복호된 프레임과 전송된 프레임간의 상이한 비트수를 나타내며($M(i)$: number of different bits between a transmitted and a decoded frame at any SISO decoder in the i th iteration), 임계값 $T(i)$ 는 0이다($T(i) = 0$).

<22> (2) CRC Check Stopping Criterion 방식

- <23> 일반적으로 CDMA 이동 통신 시스템에서 터보 부호기로 입력되는 프레임은 터보 복호기에서 복호후 해당 프레임에 대한 오류 발생 여부를 상위 계층에 보고할 수 있도록 오류 검출을 위한 CRC 비트가 포함되어 있다. 상기 CRC 비트의 프레임에 대한 오류 발생 여부 검출할 수 있는 능력은 상기 터보 복호기의 stopping criterion으로도 사용될 수 있다. 즉, 터보 복호기로 입력되는 임의의 프레임에 대해 반복 복호 과정에서 CRC 검사(CRC check) 과정을 통해 오류를 검출하고, 상기 오류가 검출되지 않으면 복호 과정을 정지한다.
- <24> 여기서 상기 CRC stopping criterion 방식을 나타내면 하기 <조건 3>과 같다.
- <25> 조건 3: $M(i) = T(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) = T(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)
- <26> 단, 상기 <조건 3>에서 측정값 $M(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 SISO 복호기에서 검출된 복호된 프레임에 대한 CRC 검사 결과를 나타내며($M(i)$: CRC check output for a decoded frame at any SISO decoder in the i th iteration), 임계값 $T(i)$ 는 0이다($T(i) = 0$).
- <27> 그러나 상기 CRC stopping criterion 방식을 상기 터보 복호기의 stopping criterion으로 사용할 경우 다음과 같은 문제점이 발생하게 된다. 첫 번째로, 매 프레임마다 CRC 비트에 의한 오버헤드(overhead)가 존재하며, 복호 과정에서 프레임 분할에 의해 입력되는 프레임에 CRC 비트가 존재하지 않는 경우 해당 프레임을 상기 CRC stopping criterion 방식을 이용하여 복호하는 것이 불가능하다. 일 예로, UMTS(Universal Mobile Telecommunication System)의 고속 순방향 패킷 접속(HSDPA: High Speed Downlink

Packet Access) 통신 시스템에서 코드 유닛(code unit)이 둘 이상인 경우에는 일반적으로 임의의 코드 유닛에 대해서 상기 터보 복호시 CRC stopping criterion 방식으로 사용될 CRC 비트가 항상 존재하지는 않는다. 그래서, 상기 CRC stopping criterion 방식은 터보 복호기의 stopping criterion으로 사용하는 것이 적합하지 않다.

<28> (3) Approximated Cross Entropy Stopping Criterion 방식

<29> 일반적으로 두 확률 분포(probability distribution)간의 교차 엔트로피(CE: Cross Entropy)는 상기 두 확률 분포(probability distribution)간의 probabilistic closeness를 나타내는 측정값으로서 사용될 수 있다. Hagenauer는 두 개의 SISO 복호기들의 출력의 확률 분포(probability distribution)들간의 교차 엔트로피(cross entropy)를 신뢰도(LLR: Log Likelihood Ratio, 이하 "LLR"이라 칭하기로 한다)를 이용하여 정의하고 간략화했으며, 이를 터보 복호기의 stopping criterion에 적용할 측정값으로서 정의하였다. 그래서 상기 측정값이 점차 작아져서 상기 SISO 복호기 출력의 probabilistic closeness가 매우 크다고 판단되면, 복호를 정지하도록 하는 stopping criterion이 제안된 것이다.

<30> 여기서 상기 Approximated Cross Entropy Stopping Criterion 방식을 나타내면 하기 <조건 4>와 같다.

<31> 조건 4: $M(i) < T(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) < T(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)

<32> 단, 상기 <조건 4>에서 제1SISO 복호기에서는 측정값

$$M(i) = \sum_k \frac{|L_1^{(i)}(u_k) - L_2^{(i-1)}(u_k)|^2}{\exp(|L_2^{(i-1)}(u_k)|)}$$
 이고, 혹은 제2SISO 복호기에서는 측정값

$$M(i) = \sum_k \frac{|L_2^{(i)}(u_k) - L_1^{(i)}(u_k)|^2}{\exp(|L_1^{(i)}(u_k)|)}$$
 을 나타내며, (

$$M(i) = \sum_k \frac{|L_1^{(i)}(u_k) - L_2^{(i-1)}(u_k)|^2}{\exp(|L_2^{(i-1)}(u_k)|)}$$
 at SISO
 decoder 1 or

$$M(i) = \sum_k \frac{|L_2^{(i)}(u_k) - L_1^{(i)}(u_k)|^2}{\exp(|L_1^{(i)}(u_k)|)}$$
 at SISO decoder 2), 임계값 $T(i)$ 는 $T(10^{-2} \sim 10^{-4})$ 이다.

<33> 그러나 상기 Approximated Cross Entropy Stopping Criterion 방식은 각 반복 복호 과정에서 기준을 설정하기 위해서 각 SISO 복호기별로 $\exp(\cdot)$ 연산을 수행해야만 하고, 결과적으로 상기 $\exp(\cdot)$ 연산 동작에 따라 하드웨어적인 복잡도(hardware complexity)가 증가한다는 문제점이 존재한다.

<34> (4) Hard Decision Aided(HDA) Stopping Criterion 방식

<35> 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식은 임의의 반복 복호 과정에서 두 개의 SISO 복호기들의 출력 정보어를 비교하고, 상기 비교 결과에 따라 두 개의 SISO 복호기들 각각에서 출력하는 정보어에 차이가 없을 경우 보호를 정지하는 방식이다.

<36> 여기서 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식을 나타내면 하기 <조건 5>와 같다.

<37> 조건 5: $M(i) = T(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) < T(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)

<38> 단, 상기 <조건 5>에서 측정값 $M(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정과 $(i-0.5)$ 번째 반복 복호 과정에서 검출된 복호된 정보 프레임들간의 서로 다른 비트들 수를 나타내며($M(i)$: number of different bits between decoded information frames in the i th and $(i-0.5)$ th iteration), 임계값 $T(i)$ 는 0이다($T(i) = 0$).

<39> 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식에서는 이전 SISO 복호기의 정보어 출력을 현재 SISO 복호기의 정보어 출력과 비교해야 하므로, 하드웨어 구현시 이전 SISO 복호기의 정보어를 저장하기 위한 추가적인 메모리(memory)를 구비하여야만 한다.

<40> (5) Minimum Absolute LLR(MAL) Stopping Criterion 방식

<41> 상기 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식은 Hagenauer가 제안한 approximated cross entropy에 의한 stopping criterion에서 적용되는 측정값에서 하기 수학적 식 1과 같은 근사화 과정을 고려한다.

<42>
$$\sum_k \frac{|\Delta L_{e_v}^{(i)}(\hat{u}_k)|^2}{\exp(|L_1^{(i)}(\hat{u}_k)|)} \approx K \cdot \exp(-\min_k (|L_1^{(i)}(\hat{u}_k)|))$$

【수학적 식 1】

<43> 상기 수학적 식 1과 같은 근사화 과정을 통해서 새로운 stopping criterion, 즉 상기 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식을 제안하며, 상기 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식을 나타내면 하기 <조건 6>과 같다.

<44> 조건 6: $M(i) > T_1(i)$ 이고, $M(i) > T_2(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) > T_1(i)$ and $M(i) > T_2(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)

<45> 단, 상기 <조건 6>에서 측정값 $M(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 제 v SISO 디코더에서 $\min_k (|L_1^{(i)}(\hat{u}_k)|)$ 을 나타내며($M(i) = \min_k (|L_1^{(i)}(\hat{u}_k)|)$ at SISO decoder v in the i th iteration), 제1임계값 $T_1(i)$ 는 $\min_{j < i} M(j) + T_1$ 이고, 제2임계값 $T_2(i)$ 는 $M_1 + T_d$ 이다 ($T_1(i) = \min_{j < i} M(j) + T_1$, $T_2(i) = M_1 + T_d$).

<46> 결과적으로, 상기 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식은 임의의 SISO 복호기의 출력 LLR 정보 가운데 그 절대값이 최소(minimum)인 것을 stopping criterion의 측정값으로 설정하고, 이전 반복 복호 과정에서 상기 설정한 측정값을 현재의 임계값으로 사용하는 방식이다. 상기에서 설명한 바와 같은 Approximated Cross Entropy Stopping Criterion 방식 및 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식에서 stopping criterion은 모두 두 개의 SISO 복호기에서 검출한 정보를 사용하였으나, 상기 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식은 현재의 SISO 디코더에서 검출할 수 있는 정보만을 가지고 반복 복호를 정지시키는 것이 가능하다. 그러나, 두 개의 SISO 복호기가 아닌 현재의 SISO 디코더에서 검출하는 정보만을 가지고 반복 복호를 정지하기 때문에 프레임 에러율(FER: Frame Error Rate) 면에서 성능 열화가 발생할 가능성이 있다. 그래서 이런 프레임 에러율면에서 발생할 수 있는 성능 열화를 최소화하기 위해서 상기 제1임계값 $T_1(i)$ 과, 제2임계값 $T_2(i)$ 를 설정할 때 고려되는 T_f 와 T_d 를 시뮬레이션 등을 통한 실험적 결과를 이용해서 검출한다. 또한, 프레임 사이즈(frame size)나 신호 대 잡음비(SNR: Signal to Noise Ratio)에 대한 성능의 독립성(independency)을 줄이기 위해서 상기 임계값들을 적응적으로 적용할 수 있도록 한다. 그런데 이렇게 임계값들을 적응적으로 적용할 경우에는 상기와는 반대로 프레임 에러율 면에서의 성능 열화는 방지하지만 평균 반복 복호 회수가 증가한다는 문제점이 있다. 즉, 프레임 에러율 면에서의 성능 열화를 방지하기 위해서는 반복 횟수면에서의 증가라는 단점을 감수해야만 한다는 것이다.

<47> (6) Sign Difference Ratio(SDR) Stopping Criterion 방식

<48> 상기에서 설명한 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식은 터보 복호기를 구성하는 제1SISO 복호기와, 제2SISO 복호기 각각에서 출력하는 정보어를 매 0.5회의 반복 복호 과정마다 비교해야만 한다. 그래서 현재 복호를 진행하고 있는 SISO 복호기의 복호 완료 시점에서 이전 SISO 복호기의 출력 정보어를 저장하고 있어야 한다. 따라서, 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식을 적용할 때에는 하드웨어적으로 추가적인 메모리 구현이 필요로 하게 된다. 이런 하드웨어적인 추가 메모리 구현을 제거하기 위해 제안된 방식이 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식이며, 이는 현재 SISO 복호기의 출력정보어와 이전 SISO 복호기의 출력 정보어를 비교하는 대신, 하나의 SISO 복호기의 현재 프레임에 대한 입력 사전 정보(a-priori information)와 출력 부가 정보(extrinsic information)의 부호(sign)를 모두 비교하여 그 부호가 서로 다른 비트들의 개수에 따라 복호를 정지하는 방식이다.

<49> 여기서 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식을 나타내면 하기 <조건 7>과 같다.

<50> 조건 7: $M(i) < T(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) < T(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)

<51> 단, 상기 <조건 7>에서 임계값 $M(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 SISO 복호기에서 복호된 정보 프레임에 대해 입력되는 사전 정보(a-priori information)와 출력되는 부가 정보(extrinsic information)간의 서로 다른 부호들 수를 나타내며($M(i)$: number of different signs between a-priori information and extrinsic information for a decoded information frame at any SISO decoder in the i th iteration), 임계값 $T(i)$ 는 p 이다($T(i) = p$).

<52> 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식에서 상기 입력되는 사전 정보(a-priori information) 및 출력되는 부가 정보(extrinsic information)는 LLR 정보에 비해 비교적 수렴이 늦기 때문에 상기 $p = 0$ 으로 하는 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식에서 평균 반복 복호 회수는 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식에서의 평균 반복 복호 회수 보다 증가하게 된다. 이렇게 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식이 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식 보다 평균 반복 복호 회수가 증가되는 문제점을 제거하기 위해서 임계값으로 사용되는 상기 p 값을 증가시키면 평균 반복 복호 회수는 감소하지만, 이에 반하여 프레임 에러율 면에서 성능 열화가 발생한다는 문제점이 있다.

<53> 상기에서 설명한 다수의 stopping criterion들을 사용하는 방식들, 즉 CRC Check Stopping Criterion 방식과, Approximated Cross Entropy Stopping Criterion 방식과, Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과, Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식과, Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식 가운데 프레임 에러율 성능 면에서 비교적 우수한 성능을 가지는 방식은 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식이다. 그러나, 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식에서 stopping criterion은 이전 SISO 복호기의 출력 정보어를 저장하는 추가적인 메모리를 하드웨어적으로 구비하여야만 한다는 단점이 있다. 그래서 이런 문제를 해결하기 위해 제안된 방식이 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식이며, 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식에서 stopping criterion은 임의의 한 SISO 복호기로 입력되는 사전 정보와 상기 SISO 복호기에서 출력되는 부가 정보를 구성하는 비트들 각각의 부호를 비교하므로, 추가적인 메모리를 필요로 하지 않는 장점이 있다.

그러나, 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식의 경우 그 임계값의 크기에 따라서 프레임 에러율 면에서 성능이 열화되거나, 이와는 반대로 평균 반복 복호 회수가 증가하여 시간 지연 및 소비 전력 증대를 가져온다는 단점이 있다. 한편, 상기 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식의 stopping criterion은 비교적 간단하게 산출 가능한 최소 절대치 신뢰도(minimum absolute LLR)를 이용하여 비교적 우수한 성능을 얻을 수 있지만, 이 역시 임계값에 따라 프레임 에러율면에서 성능이 가변한다는 단점을 가진다. 그래서 하드웨어적으로는 그 복잡도 증가가 없으며, 별도의 메모리 추가 구현이 없으며, 간단하게 설정할 수 있는 임계값으로 반복 복호를 정지할 수 있는 새로운 방식의 stopping criterion 방식 구현에 대한 필요성이 대두되고 있다.

【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】

- <54> 따라서, 본 발명의 목적은 부호분할다중접속 이동통신시스템에서 반복 복호를 보다 효율적으로 정지시키기 위한 오류 정정 장치 및 방법을 제공함에 있다.
- <55> 본 발명의 다른 목적은 부호분할다중접속 이동통신시스템에서 하드웨어적으로 최소화된 오류 정정 장치 및 방법을 제공함에 있다.
- <56> 본 발명의 또 다른 목적은 부호분할다중접속 이동통신시스템에서 소프트웨어적인 연산이 최소화된 오류 정정 장치 및 방법을 제공함에 있다.
- <57> 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 장치는; 터보 코드를 사용하여 순방향 오류 정정을 수행하는 장치에 있어서, 입력되는 프레임을 반복 복호 정지 명령이 인가될 때까지 반복 복호를 수행하고, 상기 프레임을 구성하는 심벌들 각각의 절대치 신뢰도들

을 출력하는 복호기와, 상기 절대치 신뢰도들을 입력하고, 상기 절대치 신뢰도들 중 최소 절대치 신뢰도를 측정값으로 검출하는 측정값 검출기와, 상기 복호기로 입력되는 상기 심벌들 각각의 사전 정보들과, 상기 심벌들 각각에 대한 부가 정보들을 이용하여 임계값을 검출하는 임계값 검출기와, 상기 측정값과 임계값의 비교 결과에 상응하게 상기 반복 복호 정지 명령을 출력하는 제어기를 포함함을 특징으로 한다.

<58> 상기한 목적들을 달성하기 위한 본 발명의 방법은; 터보 코드를 사용하여 순방향 오류 정정을 수행하는 방법에 있어서, 소정 제어에 따라 반복 복호 정지 명령이 인가될 때까지 입력되는 프레임을 반복 복호하고, 상기 프레임을 구성하는 심벌들 각각의 절대치 신뢰도들을 출력하는 과정과, 상기 절대치 신뢰도들 중 최소 절대치 신뢰도를 측정값으로 검출하는 과정과, 상기 심벌들 각각의 사전 정보들과, 상기 심벌들 각각에 대한 부가 정보들을 이용하여 임계값을 검출하는 과정과, 상기 측정값과 임계값의 비교 결과에 상응하게 상기 반복 복호 정지 명령을 출력하는 과정을 포함함을 특징으로 한다.

【발명의 구성 및 작용】

<59> 이하, 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 첨부한 도면을 참조하여 상세히 설명한다. 하기의 설명에서는 본 발명에 따른 동작을 이해하는데 필요한 부분만이 설명되며 그 이외 부분의 설명은 본 발명의 요지를 흐트리지 않도록 생략될 것이라는 것을 유의하여야 한다.

<60> 본 발명은 부호 분할 다중 접속 이동 통신 시스템에서 터보 코드(turbo code)를 이용하여 순방향 오류 정정(FEC: Forward Error Correction)을 하는 장치에서 정지 기준

(stopping criterion, 이하 "stopping criterion"이라 칭하기로 한다)을 위한 측정값이 실제 신뢰도(LLR: Log Likelihood Ratio, 이하 "LLR"이라 칭하기로 한다)의 수렴 속도를 반영할 수 있어야 하기 때문에, 상기 종래 기술 부분에서 설명한 바와 같은 Minimum Absolute LLR(MAL) Stopping Criterion 방식에서 적용하는 측정값을 stopping criterion의 측정값(measurement value)으로 정의한다. 본 발명에서 제안하는 상기 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식의 측정값을 측정값으로 사용하는 방식을 "SDML(Sign Difference & Minimum absolute LLR) Stopping Criterion" 방식이라 정의하기로 한다.

<61> 상기 SDML Stopping Criterion 방식을 나타내면 하기 <조건 8>과 같다.

<62> 조건 8: $M(i) > T(i)$ 일 때 반복 복호 정지(stop the decoding iterations if $M(i) > T(i)$ at any SISO decoder in the i th iteration)

<63> 단, 상기 <조건 8>에서 측정값 $M(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 제 v 연성 입력/연성 출력(SISO: Soft Input Soft Output, 이하 "SISO"라 칭하기로 한다) 복호기(decoder)에서 $\min_k \langle |L_v^{(i)}(\hat{u}_k)| \rangle$ 을 나타내며($M(i) = \min_k \langle |L_v^{(i)}(\hat{u}_k)| \rangle$ at SISO decoder v in the i th iteration), 임계값 $T(i)$ 는 i 번째 반복 복호 과정에서 제 v SISO 복호기에서 복호되는 수신 프레임에 대해 입력되는 사전 정보(a-priori information, 이하 "a-priori information"라 칭하기로 한다)와 상기 제 v SISO 복호기에서 복호되는 정보 프레임에 대해 출력되는 부가 정보(extrinsic information, 이하 "extrinsic information"라 칭하기로 한다)간의 서로 다른 부호들 수를 나타낸다($T(i)$: number of different signs between a-priori information and extrinsic information for a decoded information frame at any SISO decoder in the i th iteration). 즉, 상기 제 v SISO 복호기에서 복호

되는 정보 프레임을 구성하는 심벌들 각각에 대해서 a-priori information와 extrinsic information 각각의 부호를 비교하고, 상기 a-priori information와 extrinsic information의 부호가 다른 수를 상기 임계값 $T(i)$ 로 설정하는 것이다. 그리고, 상기 <조건 8>에서 상기 변수 k 는 상기 수신 프레임을 구성하는 심벌들 각각을 나타내는 인덱스(index)이다.

<64> 상기 본 발명에서 제안하는 SDML Stopping Criterion 방식은 터보 복호기(turbo decoder)의 프레임 에러율(FER: Frame Error Rate) 성능은 상기 종래 기술 부분에서 설명한 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일한 성능을 가지며, 평균 반복 복호 회수 역시 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일한 회수를 가진다. 반면, 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식의 경우 이전 SISO 복호기의 정보어(information codeword) 출력을 현재 SISO 복호기의 정보어 출력과 비교해야 하므로, 하드웨어 구현시 이전 SISO 복호기의 정보어를 저장하기 위한 추가적인 메모리(memory)를 구비하여야만 했지만, 상기 SDML Stopping Criterion 방식은 별도의 추가 메모리 구비가 필요없이 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일한 성능을 가진다.

<65> 그러면 여기서, 상기 SDML Stopping Criterion 방식에 따른 터보 복호기 구조를 도 1을 참조하여 설명하기로 한다.

<66> 상기 도 1은 본 발명의 실시예에서의 기능을 수행하기 위한 터보 복호기 구성을 도시한 블록도이다.

<67> 상기 도 1을 참조하면, 터보 복호기(100)는 SISO 복호기(115)와, 측정값 검출기(117)와, 비교기(comparator)(119)와, 논리합 게이트(OR gate)(121)와, 카운터(counter)(123)와, 곱셈기(125)와, 제어기(controller)(127)로 구성된다.

<68> 그리고 입력 버퍼(input buffer)(111)는 상기 수신 프레임, 즉 상기 터보 복호기로 입력되는 수신 프레임 데이터를 버퍼링한다. 그리고 출력 버퍼(output buffer)는 해당 수신 프레임에 대한 터보 복호가 완료된 후 그 출력 정보어를 버퍼링한다. 상기 입력 버퍼(111)는 상기 버퍼링하고 있는 수신 프레임을 SISO 복호기(115)로 출력한다. 여기서, 상기 입력 버퍼(111)는 상기 수신 프레임을 구성하는 심벌들 단위로 상기 SISO 복호기(115)로 출력한다. 상기 SISO 복호기(115)는 상기 입력 버퍼(111)에서 출력한 심벌을 입력하여 복호한 후 그 복호 완료됨에 따른 정보어를 상기 출력 버퍼(113)로 출력하고, 이와 동시에 상기 심벌에 대해 측정한 LLR의 절대값, 즉 절대치 LLR $|LLR_i|$ 을 측정값 검출기(117)로 출력한다. 상기 측정값 검출기(117)는 상기 SISO 복호기(115)에서 출력한 $|LLR_i|$ 을 입력하여 최소 절대치 LLR(minimum absolute LLR, 이하 "최소 $|LLR_i|$ "이라 칭하기로 한다)인 측정값 $M(i)$ 를 검출하고, 상기 검출한 측정값 $M(i)$ 를 비교기(119)로 출력한다. 여기서, 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식은 터보 복호기의 측정값 $M(i)$ 를 최소 $|LLR_i|$ 로 설정하는 것이다.

<69> 한편, 상기 SISO 복호기(115)는 상기 SISO 복호기(115)로 입력되는 k번째 정보 심볼(information symbol)에 대한 a-priori information $L_a(\hat{u}_k)$ 와 상기 SISO 복호기(115)에서 출력하는 k번째 정보 심볼에 대한 extrinsic information $L_e(\hat{u}_k)$ 를 논리합 게이트(121)로 출력한다. 그러면 상기 논리합 게이트(121)는 상기 SISO 복호기(115)에서 출력한 a-priori information $L_a(\hat{u}_k)$ 와 extrinsic information $L_e(\hat{u}_k)$ 각각의 부호를 논리

합 연산하여 카운터(123)로 출력한다. 상기 카운터(123)는 상기 논리합 게이트(121)에서 출력한 신호를 입력하여 1의 값을 가지는 수를 카운팅한 후 곱셈기(125)로 출력하고, 상기 곱셈기(125)는 상기 카운터(123)에서 출력한 신호와 상수 K를 곱하여 상기 비교기(119)로 출력한다. 여기서, 상기 카운터(123)가 논리합 게이트(121)에서 출력한 신호에서 1의 값을 가지는 수만 카운팅하는 이유는 상기 a-priori information $L_a(\hat{u}_k)$ 와 extrinsic information $L_e(\hat{u}_k)$ 의 부호가 같을 경우에는 상기 논리합 게이트(121)에서 0을 출력하고, 상기 a-priori information $L_a(\hat{u}_k)$ 와 extrinsic information $L_e(\hat{u}_k)$ 의 부호가 다를 경우에는 상기 논리합 게이트(121)에서 1을 출력하기 때문이다. 즉, 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식은 터보 복호기의 stopping criterion으로 사용되는 임계값 $T(i)$ 를 해당 프레임의 a-priori information과 extrinsic information의 부호가 다른 수를 기준으로 하기 때문이다. 또한, 상기 상수 K는 실제 하드웨어에서 입력 심볼의 값이 양자화(quantization)되었을 경우, 혹은 입력 심볼이 scaling되어 있을 때, 상기 양자화 혹은 scaling 과정에 따른 차이를 보정하기 위한 값이다.

<70> 상기 비교기(119)는 상기 측정값 검출기(117)에서 출력한 측정값 $M(i)$, 즉 $\min_k (|L^{(w)}(\hat{u}_k)|)$ 와, 상기 곱셈기(125)에서 출력한 값, 즉 임계값 $T(i)$ 를 비교하여 제어기(127)로 출력한다. 상기 제어기(127)는 상기 비교기(119)에서 출력한 측정값 $M(i)$ 와 임계값 $T(i)$ 의 비교 결과를 가지고 반복 복호 과정에 대한 정지 여부를 판단한다. 여기서, 상기 제어기(127)는 상기에서 설명한 바와 같이 본 발명은 SDML Stopping Criterion 방식을 사용하기 때문에, 상기 $M(i) > T(i)$ 일 때 반복 복호를 정지하기로 판단한다. 상기 제어기(127)는 상기 터보 복호기의 반복 복호 정지를 결정하면, 반복 복호 정지를 명령하는 반복 복호 정지 명령 TURBO_STOP을 상기 SISO 복호기(115)로 출력한다. 그러면

상기 SISO 복호기(115)는 상기 제어기(127)에서 출력한 반복 복호 정지 명령 TURBO_STOP에 상응하게 반복 복호 과정을 중단한다.

<71> 그러면 여기서 상기 도 1에서 설명한 측정값 검출기(117)의 내부 구성을 도 2를 참조하여 설명하기로 한다.

<72> 상기 도 2는 도 1의 측정값 검출기(117)의 내부 구성을 도시한 블록도이다.

<73> 상기 도 2를 참조하면, 상기 측정값 검출기(117)는 SISO 복호기(115)에서 복호된 프레임의 $|LLR|$ 정보에 대한 최소 $|LLR|$, 즉 측정값 $M(i)$ 를 구하기 위한 장치로서, 상기 도 2에 도시하고 있는 바와 같이 i 번째 프레임을 복호 후 상기 i 번째 프레임을 구성하는 심벌들 각각의 $|LLR|$ 들 중 최소값인 측정값 $M(i)$ 을 구하는 것은 비교기(comparator)와 선택기(selector)를 이용하여 구현할 수 있다.

<74> 상기 도 2를 참조하면, 제1선택기(210)는 상기 도 1에서 설명한 제어기(127)로부터의 초기 최대값 MAX와 상기 측정값 검출기(117)의 출력, 즉 측정값 $M(i)$ 을 입력으로 하고, 상기 제어기(127)로부터의 선택신호 SEL에 의해 상기 두 입력 중 어느 하나를 선택하여 출력한다. 상기 제어기(127)는 최초에는 MAX를 선택하기 위한 SEL을 제공할 것이며, 상기 최초의 시점 이후에서는 상기 측정값 검출기(117)의 출력인 측정값 $M(i)$ 를 선택하는 SEL신호를 제공할 것이다. 즉, 상기 SEL신호는 첫 번째 심벌에 대해서만 0의 값을 갖고, 그 이후에는 1의 값을 갖는다. 비교기(212)는 상기 제1선택기(210)로부터의 출력과 SISO 복호기(115)로부터의 $|LLR(k)|$ 들을 입력(a,b)으로 하고, 상기 두 입력(a,b)을 비교하여 상기 비교 결과에 의해 상기 두 입력(a,b) 중 어느 하나를 선택하여 출력한다. 여기서, $LLR(k)$ 는 상기 프레임을 구성하는 k 번째 심벌에 대한 LLR을 나타낸다. 일 예로, 상기 $|LLR(k)|$, 즉 b 가 상기 제1선택기(210)로부터의 출력, 즉 a 보다 큰 조건($a <$

b)을 만족하면 상기 비교기(212)는 "1"을 출력하며, 그렇지 않고 상기 조건(a < b)을 만족하지 않으면 상기 비교기(212)는 "0"을 출력한다. 제2선택기(214)는 상기 $|LLR(k)|$ 와 상기 제1선택기(210)로부터의 출력 각각을 입력포트 0과 입력포트 1의 입력으로 하고, 상기 비교기(212)로부터의 출력을 선택신호로 하여 상기 입력포트 0과 1 중 어느 하나를 선택하여 선택된 입력포트로 입력되는 신호를 $M(i)$ 로 출력한다. 일 예로, 상기 제2선택기(214)는 상기 비교기(212)로부터의 선택신호가 '0'이면 상기 입력포트 0의 입력이 출력으로 선택되고, 상기 비교기(212)로부터의 선택신호가 '1'이면 상기 입력포트 1의 입력이 출력으로 선택된다. 상기에서 설명한 바와 같이 상기 도 2에서 도시하고 있는 측정값 검출기(117)는 레지스터의 값을 MAX로 초기화한 후, 각 프레임을 이루는 심벌들 각각에 대한 $|LLR|$ 값들을 레지스터에 저장된 값과 비교해가면서 레지스터를 업데이트(update)함으로써 최종적으로 레지스터에 남는 값을 측정값 $M(i)$ 로 출력하는 것이다.

<75> 다음으로 도 3을 참조하여 SDML Stopping Criterion 방식을 이용한 터보 복호 과정을 설명하기로 한다.

<76> 상기 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 SDML Stopping Criterion 방식을 이용한 터보 복호 과정을 도시한 순서도이다.

<77> 상기 도 3을 참조하면, 먼저 터보 복호기로 입력되는 프레임에 대한 첫 번째 반복 복호 과정을 수행하기에 앞서 311단계에서 제어기(127)는 상기 측정값 $M(i)$ 와 임계값 $T(i)$ 을 각각 0으로 초기화하고, 변수 i , v 를 1로 초기화하고, 최대 반복 복호 회수를 I_{max} 로 설정하고 313단계로 진행한다($i = 1$, $v = 1$, I_{max} setup). 여기서, 상기 i 는 반복 복호 회수를 나타내며, v 는 복호기 번호를 나타낸다. 일 예로, 상기 v 가 1일 경우 제1SISO 복호기를 나타내고, 상기 v 가 2일 경우 제2SISO 복호기

를 나타낸다. 상기 313단계에서 상기 제어기(127)는 제vSISO 복호기에 대해서 i번째 반복 복호 과정을 수행하도록 제어한다. 그러면 상기 도 1에서 설명한 바와 같이 제vSISO 복호기는 i번째 반복 복호 과정을 수행하고, 상기 복호 결과에 따라 측정값 검출기(117)는 315단계에서 측정값 $M(i)$ 를 검출하여 비교기(119)로 출력하고 319단계로 진행한다. 한편, 상기 도 1에서 설명한 바와 같이 제vSISO 복호기는 i번째 반복 복호 과정을 수행하고, 상기 복호 결과에 따라 논리합 게이트(121)는 a-priori information $L_a(\hat{u}_k)$ 와 extrinsic information $L_e(\hat{u}_k)$ 를 논리합 연산하고, 상기 논리합 연산 결과를 다시 카운터(123)가 카운팅한 값을 317단계에서 곱셈기(125)는 상수 K와 곱해 임계값 $T(i)$ 를 계산하여 비교기(119)로 출력한 후 319단계로 진행한다.

<78> 상기 319단계에서 상기 비교기(119)는 상기 측정값 검출기(117)에서 출력한 $M(i)$ 와 상기 곱셈기(125)에서 출력한 $T(i)$ 를 비교하고, 그 비교 결과를 제어기(127)로 출력한다. 그러면 상기 제어기(127)는 상기 비교 결과 상기 $M(i)$ 가 $T(i)$ 를 초과할 경우 SDML Stopping Criterion 방식의 stopping criterion을 만족하기 때문에 더 이상의 반복 복호 과정을 수행할 필요가 없으므로 반복 복호 정지 명령 TURBO_STOP을 상기 SISO 복호기(115)로 출력하여 더 이상의 반복 복호 과정을 정지하도록 제어하고 종료한다. 한편, 상기 319단계에서 상기 제어기(127)는 상기 비교 결과 상기 $M(i)$ 가 $T(i)$ 를 초과하지 않을 경우 상기 SDML Stopping Criterion 방식의 stopping criterion을 만족하지 못하므로 반복 복호 과정을 지속적으로 진행하기 위해서 321단계로 진행한다.

<79> 상기 321단계에서 상기 제어기(127)는 상기 반복 복호 회수를 나타내는 변수 i의 값이 상기 최대 반복 복호 회수 I_{max} 미만인지를 검사한다. 상기 검사 결과 상기 반복 복호 회수를 나타내는 변수 i의 값이 상기 최대 반복 복호 회수 I_{max} 미만인 경우

더 이상의 반복 복호가 불가능함으로 상기 제어기(127)는 반복 복호 정지 명령 TURBO_STOP을 상기 SISO 복호기(115)로 출력하여 더 이상의 반복 복호 과정을 정지하도록 제어하고 종료한다. 한편, 상기 검사 결과 상기 반복 복호 회수를 나타내는 변수 i 의 값이 상기 최대 반복 복호 회수 I_{max} 미만일 경우 상기 제어기(127)는 323단계로 진행한다. 상기 323단계에서 상기 제어기(127)는 상기 SISO 복호기 번호를 나타내는 변수 v 가 2인지를 검사한다. 상기 검사 결과 상기 SISO 복호기 번호를 나타내는 변수 v 가 2일 경우 상기 제어기(127)는 325단계로 진행한다. 상기 325단계에서 상기 제어기(127)는 상기 반복 복호 회수를 나타내는 변수 i 의 값을 $i+1$ 로 설정하고, 또한 SISO 복호기 번호를 나타내는 변수 v 를 1로 설정하고($i = i + 1, v = 1$) 상기 313단계로 되돌아간다. 한편 상기 323단계에서 검사 결과 상기 SISO 복호기 번호를 나타내는 변수 v 가 2가 아닐 경우 상기 제어기(127)는 327단계로 진행한다. 상기 327단계에서 상기 v 가 아닐 경우 상기 제어기(127)는 상기 SISO 복호기 번호를 나타내는 변수 v 를 2로 설정하고($v = 2$) 상기 313단계로 되돌아간다.

<80> 그러면 여기서 상기 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식에 따른 실제 터보 복호 과정의 시뮬레이션(simulation) 결과를 종래에 제안되어 있는 stopping criterion 방식에 따른 터보 복호 과정의 시뮬레이션 결과들과 비교하기로 한다. 여기서, 상기 시뮬레이션을 위해 사용하는 터보 부호기는 3GPP(3rd Generation Partnership Project) 표준 규격에서 제안하는 구속장 $K = 4$, 부호화율 $R = 1/3$ 인 터보 부호기이며, 각 구성 부호기의 RSC(Recursive Systematic Convolutional)의 전송 함수(transfer function)는 하기 수학적 식 2와 같다.

<81> **【수학식 2】** $G(D) = [1, \frac{1+D+D^3}{1+D^2+D^3}]$

<82> 또한, 상기 터보 부호화를 위한 인터리빙(interleaving) 방식 역시 3GPP 표준 규격에 따른다. 그리고, 터보 부호화된 부호어(codeword)를 전송할 때에는 이진 위상 쉬프트 키잉(BPSK: Binary Phase Shift Keying) 변조 방식을 사용하며, AWGN(Additive White Gaussian Noise) 전송 선로를 가정하기로 한다.

<83> 그리고, 수신단에서는 수신 프레임을 복호하기 위한 터보 복호기로서 max-Log-MAP 알고리즘(algorithm)을 기반으로 하는 floating point SISO decoding algorithm을 사용하고, 각 SISO 복호기는 인터리버를 통해 직렬로 연결되며, 한 수신 프레임에 대한 최대 반복 복호 회수는 8회로 제한한다. 그리고, 반복 복호 과정에서 복호 정지를 위한 stopping criterion은 각 SISO 복호기의 복호 완료 후 적용할 수 있도록 한다. 즉, 반복 복호가 정지할 수 있는 반복 복호 회수는 0.5회 단위이다. 그리고 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과, 종래의 stopping criterion 방식들 중에서 미리 설정되는 임계값을 필요로 하는 stopping criterion 방식들, 즉 Approximated Cross Entropy Stopping Criterion 방식과, Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식과, Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식은 그 임계값을 다음과 같이 설정한다.

<84> (1) Approximated Cross Entropy Stopping Criterion 방식: $T = 10^{-3}$

<85> (2) Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식: $T_f = 5, \quad T_d = 5$

<86> (3) Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식: $p = 0 \text{ or } 20$

<87> 상기에서 설명한 바와 같이 각각 터보 부호화 및 터보 복호화를 한다는 가정하에 본 발명의 SDML stopping criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 성능을 비교하여 설명하기로 한다.

<88> 먼저, 도 4는 프레임 사이즈가 5114일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 프레임 에러율 성능을 도시한 그래프이다.

<89> 상기 도 4를 참조하면, 먼저 터보 복호기의 프레임 에러율 성능에 있어서 $p = 20$ 인 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식은 임의의 SISO 복호기로 입출력되는 프레임에 대해 a-priori information과 extrinsic information간에 20개 이내의 부호 차이가 있을 경우에는 해당 SISO 복호기의 출력에 오류가 없다고 판단하므로, 터보 복호기의 평균 반복 복호 회수를 감소시키는 것이 가능하다. 그러나, 실제 복호된 프레임에는 오류가 존재할 수 있으므로, 프레임 에러율 성능은 다른 방식에 비해서 열화가 발생하게 된다. 이와는 달리 동일한 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식이더라도 $p = 0$ 인 경우에는 임의의 SISO 복호기의 프레임내 모든 비트들에 대한 a-priori information과 extrinsic information 사이에 부호 차이가 없어야만 복호를 정지하므로, 평균 반복 복호 회수는 증가하지만 반면에 프레임 에러율면에서는 Genie-aided Stopping Criterion 방식의 성능과 거의 동일하게 된다. 그리고, 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식의 stopping criterion 역시 상기 프레임 에러율 성능에서는 어느 정도의 성능 열화가 발생하지만, 상기 도 4에 도시한 바와 같이 그 성능 열화의 폭이 종래의 다른 stopping criterion 방식에 비해 작아 성능 향상을 가져온다는 것을 알 수 있다.

<90> 여기서, 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식에서 프레임 에러율 면에서 성능 열화가 발생하는 이유는 두 방식 모두

stopping criterion이 터보 복호기를 구성하는 하나의 SISO 복호기 출력만을 고려하여 $M(i)$ 및 $T(i)$ 를 설정하고, 상기 설정한 $M(i)$ 및 $T(i)$ 를 이용하여 반복 복호 정지 여부를 판단하기 때문이다. 즉, 상기 터보 복호기는 두 개의 RSC들이 하나의 코드워드를 생성하는 형태이므로, 하나의 SISO 복호기만을 가지고 반복 복호 정지 여부를 판단하는 것은 터보 복호 과정에서 필요한 정보의 1/2만을 사용하는 것과 동일하다. 이렇게 필요한 정보의 1/2만을 사용하기 때문에 프레임 에러율 면에서 성능 열화가 일어나게 된다. 그러나 상기 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식 및 SDML Stopping Criterion 방식과 동일하게 하나의 SISO 복호기 출력을 가지고 반복 복호 정지 여부를 판단하는 Minimum Absolute LLR Stopping Criterion 방식은 시뮬레이션 결과 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식의 프레임 에러율 성능에 거의 유사하도록 $T(i)$ 를 설정하기 때문에 프레임 에러율 성능 열화가 비교적 작다.

<91> 한편, Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식은 터보 복호기를 구성하는 제1SISO 복호기와, 제2SISO 복호기 모두의 출력을 고려하여 $M(i)$ 와 $T(i)$ 를 설정하기 때문에 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일한 프레임 에러율 성능을 가진다. 또한 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식은 평균 반복 복호 회수 면에서도 Genie-aided Stopping Criterion 방식보다 약 0.5회의 추가적인 반복 복호 과정만을 필요로 하는데, 상기 0.5회의 추가적인 반복 복호 과정은 임의의 SISO 복호기의 출력 정보에 최초로 오류가 존재하지 않을 경우, 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식은 해당 시점에서 복호를 정지할 수 있으나, 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식은 항상 한 번의 SISO 복호 과정을 더 수행하여야 하기 때문에 발생한다. 그리고 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식은 프레임 에러율 성능면에서

설정 임계값 이하의 프레임 에러율 영역에서는 터보 코드의 최소 정보 가중치(minimum information weight)에 의한 undetected error가 발생하게 되고, 이는 Genie aided Stopping Criterion 방식에서는 발견되지만, 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식에서는 발견되지 않는 프레임 에러로서 작용하여 프레임 에러율 성능의 저하가 발생된다.

<92> 상기 도 4에 도시되어 있는 바와 같이, 다수의 stopping criterion 방식들 중에서 프레임 에러율 성능 면에서 가장 우수한 성능을 가지는 stopping criterion 방식은 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식이다. 상기 두 가지 방식들 각각은 서로 장단점을 가지는데, 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식은 최적에 가까운, 즉 Genie-aided Stopping Criterion 방식과 거의 유사한 프레임 에러율 성능과 최소 평균 반복 복호 회수를 가진다는 면에서 상기 SDML stopping criterion 방식보다 장점을 가진다. 반면에 상기 SDML Stopping Criterion 방식은 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 거의 유사한 프레임 에러율 성능 및 평균 반복 복호 회수를 가지면서도 하드웨어적으로 추가적인 메모리를 구현하지 않아도 된다는 장점을 가진다.

<93> 상기 도 4에서는 프레임 에러율 성능을 기준으로 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들을 비교하였으며, 다음으로 도 5를 참조하여 평균 복호 회수를 기준으로 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들을 비교하여 설명하기로 한다.

- <94> 상기 도 5는 프레임 사이즈가 5114일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 평균 반복 복호 회수 성능을 도시한 그래프이다.
- <95> 상기 도 5를 참조하면, 먼저 터보 복호기의 프레임 에러율 성능에 있어서 $p = 20$ 인 Sign Difference Ratio stopping criterion 방식은 임의의 SISO 복호기로 입출력되는 프레임에 대해 a-priori information과 extrinsic information간에 20개 이내의 부호 차이가 있을 경우에는 해당 SISO 복호기의 출력에 오류가 없다고 판단하므로, 터보 복호기의 평균 반복 복호 회수를 감소시키는 것이 가능하다. 그래서 상기 $p = 20$ 인 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식은 $p = 0$ 인 Sign Difference Ratio Stopping Criterion 방식에 비해 평균 반복 복호 회수면에서 성능 향상을 가져온다. 특히, 상기 SDML Stopping Criterion 방식은 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 거의 유사한 평균 반복 복호 회수를 가지면서도 하드웨어적으로 추가적인 메모리를 구현하지 않아도 된다는 장점을 가진다.
- <96> 상기 도 4 및 도 5에서는 프레임 사이즈가 5114인 경우를 가정하여 각 stopping criterion 방식들의 프레임 에러율 및 평균 반복 복호 회수 성능을 비교하였다. 다음으로 상기 프레임 사이즈를 $2558 = \lceil 5114/2 \rceil$ 로 변화하여 각 stopping criterion 방식들의 프레임 에러율 및 평균 반복 복호 회수 성능을 비교하기로 한다.
- <97> 먼저 도 6은 프레임 사이즈가 2558일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 프레임 에러율 성능을 도시한 그래프이다.
- <98> 상기 도 6을 설명하기에 앞서, 먼저 차세대 이동 통신 시스템인 UMTS(Universal Mobile Telecommunication System)의 고속 순방향 패킷 접속(HSDPA: High Speed

Downlink Packet Access) 통신 시스템에서 CRC 비트를 이용하여 반복 복호를 정지할 수 있는 프레임 사이즈는 2558~5114 비트이다. 상기 도 6에서는 상기 프레임 사이즈를 2558 비트로 설정했으며, 또한 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식과의 차이점을 보다 명확하게 나타내기 위해서 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식 및 Genie-aided Stopping Criterion 방식에 대한 프레임 에러율 성능만을 도시하였다.

<99> 상기 도 6에 도시한 바와 같이 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식에 따른 프레임 에러율은 Genie-aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일하다. 그러므로 프레임 사이즈가 작을 경우 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식은 Genie-aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일한 프레임 에러율 성능을 갖도록 최적화된다. 물론, 상기 도 6에 도시한 바와 같이 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식이 비트에너지 대 잡음비(E_b/N_0)가 높은 영역에서 아주 작은 차이로 프레임 에러율이 성능 저하되지만 일반적으로 상기 UMTS의 고속 순방향 패킷 접속 통신 시스템은 비트에너지 대 잡음비(E_b/N_0)가 높은 영역은 고려되지 않으며 또한 이렇게 작은 프레임 에러율을 타겟(target)으로 하지 않기 때문에 상기 프레임 에러율 성능 열화는 상기 UMTS의 고속 순방향 패킷 접속 통신 시스템에서 터보디코딩 성능에 거의 영향을 미치지 않게 된다.

<100> 상기 도 6에서는 프레임 에러율 성능을 기준으로 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들, 특히 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 Genie-aided Stopping Criterion 방식을 비교하였으며, 다음

으로 도 7을 참조하여 평균 반복 복호 회수를 기준으로 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들을 비교하여 설명하기로 한다.

- <101> 상기 도 7은 프레임 사이즈가 2558일 때 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식과 종래의 stopping criterion 방식들에 따른 평균 반복 복호 회수 성능을 도시한 그래프이다.
- <102> 상기 도 7 역시 프레임 사이즈를 2558 비트로 설정했으며, 또한 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식과의 차이점을 보다 명확하게 나타내기 위해서 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식 및 Genie-aided Stopping Criterion 방식에 따른 평균 반복 복호 회수 성능을 도시하였다.
- <103> 상기 도 7에 도시한 바와 같이 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식과 SDML Stopping Criterion 방식에 따른 평균 반복 복호 회수는 Genie-aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일하다. 그러므로 프레임 사이즈가 작을 경우 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식은 Genie-aided Stopping Criterion 방식과 거의 동일한 평균 반복 복호 회수 성능을 갖도록 최적화된다. 물론, 상기 도 7에 도시한 바와 같이 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식이 상기 Hard Decision Aided Stopping Criterion 방식 및 Genie-aided Stopping Criterion 방식보다는 그 평균 반복 복호 회수면에서 성능을 꺾지만 상기에서 설명한 바와 같이 본 발명의 SDML Stopping Criterion 방식은 하드웨어적으로 추가적인 메모리 구비가 없어도 상기 Genie-aided Stopping Criterion 방식과 거의 유사한 성능을 가지게 된다.

<104> 한편 본 발명의 상세한 설명에서는 구체적인 실시예에 관해 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안되며 후술하는 특허청구의 범위뿐만 아니라 이 특허청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

【발명의 효과】

<105> 상술한 바와 같은 본 발명은 터보 코드를 이용하는 순방향 오류 정정 장치에서 반복 복호 정지를 위한 stopping criterion으로서 측정값을 수신 프레임에 구성하는 심벌들 각각의 최소 절대치 LLR을 사용하고, 임계값을 상기 심벌들 각각의 a-priori information과 extrinsic information의 부호차를 사용함으로써 하드웨어적으로 추가적인 메모리를 사용하지 않고도 최소의 반복 복호 과정을 통한 순방향 오류 정정을 가능하게 한다는 이점을 가진다. 또한, 상기와 같이 최소의 반복 복호 과정을 통한 순방향 오류 정정을 하지만 프레임 에러율 성능면에서도 열화가 발생하지 않는다는 이점을 가진다.

【특허청구범위】**【청구항 1】**

터보 코드를 사용하여 순방향 오류 정정을 수행하는 장치에 있어서,
입력되는 프레임을 반복 복호 정지 명령이 인가될 때까지 반복 복호를 수행하고,
상기 프레임을 구성하는 심벌들 각각의 절대치 신뢰도들을 출력하는 복호기와,
상기 절대치 신뢰도들을 입력하고, 상기 절대치 신뢰도들 중 최소 절대치 신뢰도를
측정값으로 검출하는 측정값 검출기와,
상기 복호기로 입력되는 상기 심벌들 각각의 사전 정보들과, 상기 심벌들 각각에
대한 부가 정보들을 이용하여 임계값을 검출하는 임계값 검출기와,
상기 측정값과 임계값의 비교 결과에 상응하게 상기 반복 복호 정지 명령을 출력하
는 제어기를 포함함을 특징으로 하는 상기 장치.

【청구항 2】

제1항에 있어서,
상기 제어기는 상기 측정값이 상기 임계값을 초과할 때 상기 반복 복호 정지 명령
을 출력함을 특징으로 하는 상기 장치.

【청구항 3】

제1항에 있어서,
상기 임계값 검출기는;

상기 사전 정보와 부가 정보의 부호를 논리합 연산하는 논리합 게이트와,
상기 논리합 게이트에서 출력한 신호를 입력하여 상기 사전 정보와 부가 정보의 부호가 다른 횟수를 카운팅하는 카운터를 포함함을 특징으로 하는 상기 장치.

【청구항 4】

제3항에 있어서,
상기 임계값 검출기는 상기 복호기로 입력되는 심벌의 양자화에 따른 특성 보정값과, 상기 카운팅된 횟수를 곱셈하는 곱셈기를 더 포함함을 특징으로 하는 상기 장치.

【청구항 5】

제1항에 있어서,
상기 측정값 검출기는;
초기에 설정된 초기값과 상기 입력되는 프레임의 최초 심벌의 최소 절대치 신뢰도를 입력으로 하고, 상기 제어기로부터의 선택신호에 의해 상기 초기값과 상기 최소 절대치 신뢰도 중 어느 하나를 선택하는 제1선택기와,
상기 절대치 신뢰도와 상기 제1선택기로부터의 출력을 입력으로 하고, 상기 절대치 신뢰도와 상기 제1선택기로부터의 출력을 비교하여 그 비교 결과에 따른 선택신호를 출력하는 비교기와,

상기 절대치 신뢰도와 상기 제1선택기로부터의 출력을 입력으로 하고, 상기 비교기로부터의 선택신호에 의해 상기 절대치 신뢰도와 상기 제1선택기로부터의 출력 중 어느 하나를 선택하여 최소 절대치 신뢰도로 출력하는 제2선택기를 포함하며,

상기 입력되는 프레임을 이루는 심벌들 각각에 대한 최소 절대치 신뢰도를 순차적으로 측정하고, 비교하여 최소값을 측정값으로 출력함을 특징으로 하는 상기 장치.

【청구항 6】

터보 코드를 사용하여 순방향 오류 정정을 수행하는 방법에 있어서,

소정 제어에 따라 반복 복호 정지 명령이 인가될 때까지 입력되는 프레임을 반복 복호하고, 상기 프레임을 구성하는 심벌들 각각의 절대치 신뢰도들을 출력하는 과정과,

상기 절대치 신뢰도들 중 최소 절대치 신뢰도를 측정값으로 검출하는 과정과,

상기 심벌들 각각의 사전 정보들과, 상기 심벌들 각각에 대한 부가 정보들을 이용하여 임계값을 검출하는 과정과,

상기 측정값과 임계값의 비교 결과에 상응하게 상기 반복 복호 정지 명령을 출력하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 상기 방법.

【청구항 7】

제6항에 있어서,

상기 반복 복호 정지 명령을 출력하는 과정은 상기 측정값이 상기 임계값을 초과할 때 상기 반복 복호 정지 명령을 출력함을 특징으로 하는 상기 방법.

【청구항 8】

제6항에 있어서,

상기 임계값을 검출하는 과정은;

상기 사전 정보와 부가 정보의 부호를 논리합 연산하는 과정과,

상기 논리합 연산된 값을 가지고 상기 사전 정보와 부가 정보의 부호가 다른 횟수를 카운팅하여 상기 임계값으로 검출하는 과정을 포함함을 특징으로 하는 상기 방법.

【청구항 9】

제8항에 있어서,

상기 임계값을 검출하는 과정은 상기 심벌들의 양자화에 따른 특성 보정값을 고려하여 상기 임계값을 검출함을 특징으로 하는 상기 방법.

【청구항 10】

제6항에 있어서,

상기 측정값을 검출하는 과정은;

초기에 설정된 초기값과 상기 입력되는 프레임 심벌의 최소 절대치 신뢰도 중 어느 하나를 선택하는 제1과정과,

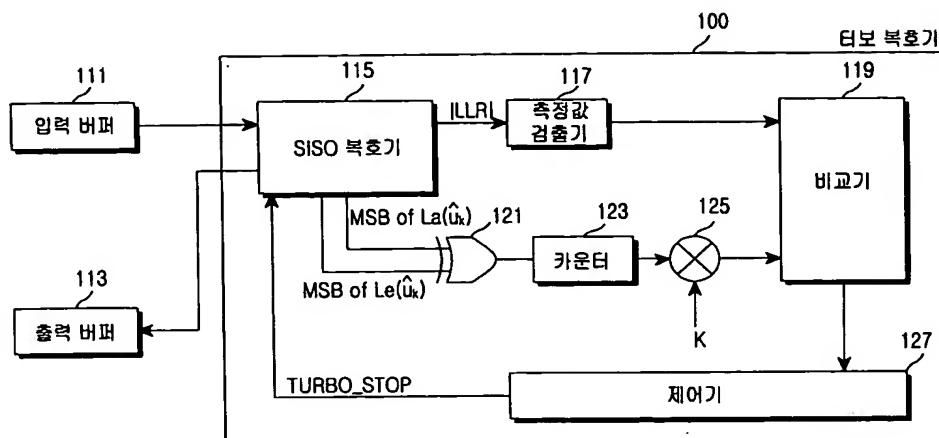
상기 절대치 신뢰도와 상기 제1과정에서 선택된 값을 비교하여 선택 신호를 생성하는 제2과정과.

상기 선택 신호에 상응하게 상기 절대치 신뢰도와 상기 제1과정에서 선택된 값 중 어느 하나를 선택하여 상기 최소 절대치 신뢰도로 출력하는 과정과,

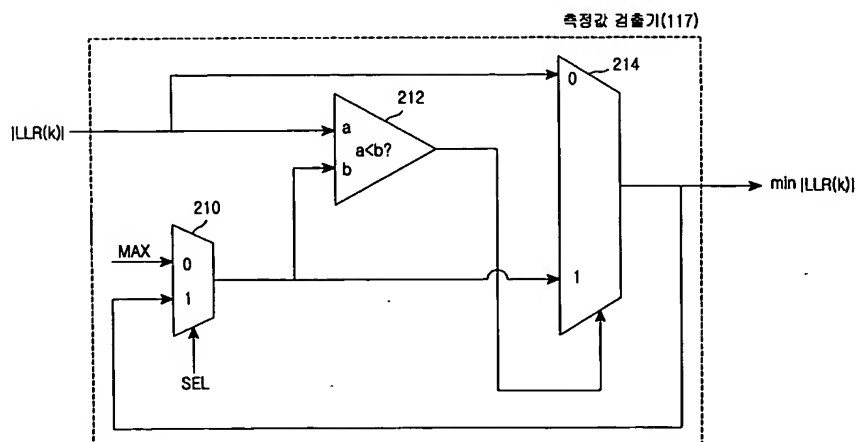
상기 입력되는 프레임을 이루는 심벌들 각각에 대한 최소 절대치 신뢰도를 순차적으로 측정하고, 비교하여 최소값을 측정값으로 출력함을 특징으로 하는 상기 방법.

【도면】

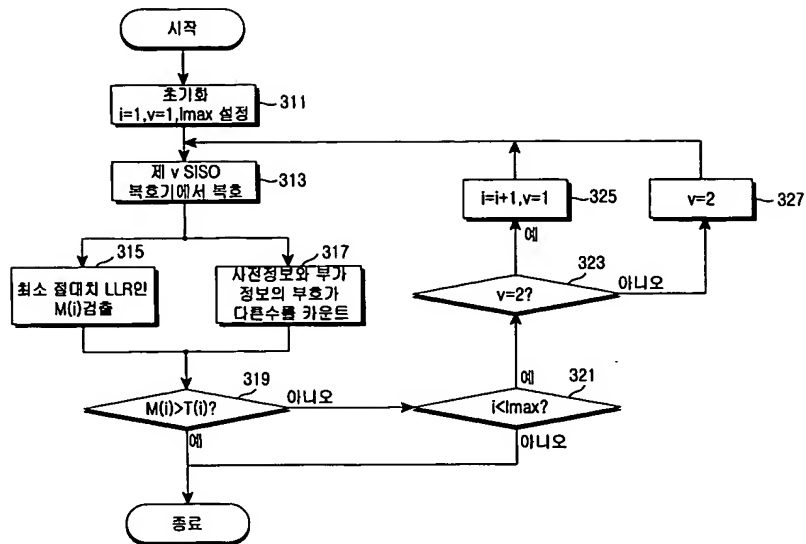
【도 1】



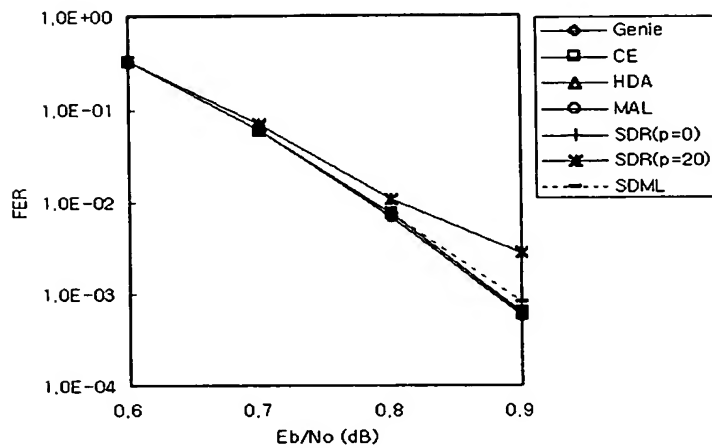
【도 2】



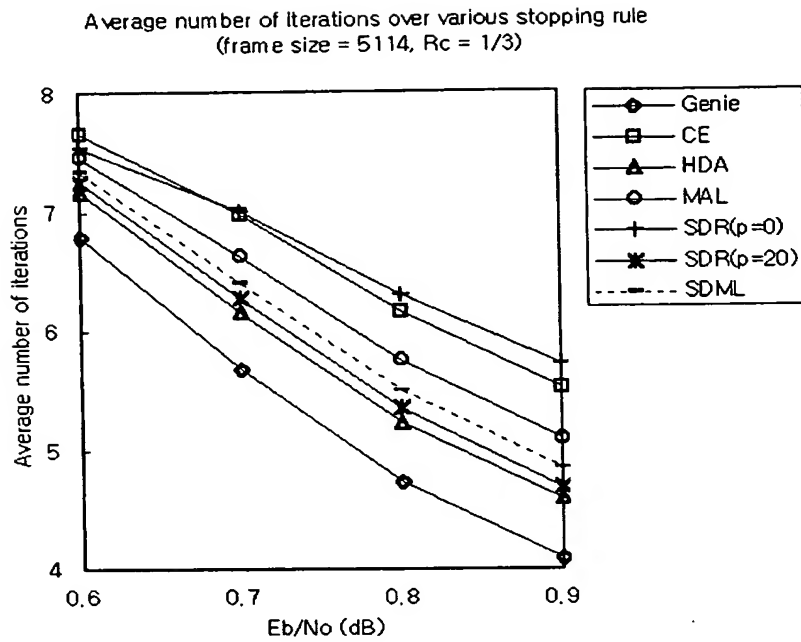
【도 3】



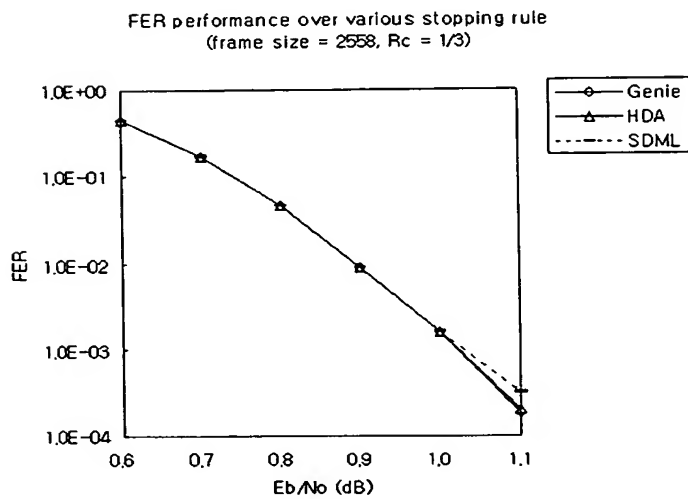
【도 4】

FER performance over various stopping rule
(frame size = 5114, $R_c = 1/3$)

【도 5】



【도 6】



【도 7】

